

II-100 - REMOÇÃO DE NITROGÊNIO EM REATOR AERÓBIO-ANÓXICO DE LEITO FIXO TRATANDO EFLUENTE ANAERÓBIO

Thayse Nathalie Ferro⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR/CM). Mestranda em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR/CT).

Karina Querne de Carvalho⁽²⁾

Engenheira Civil pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Mestre e Doutor em Engenharia pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente do Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Curitiba.

Fernando Hermes Passig⁽³⁾

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre e Doutor em Engenharia pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente do Departamento Acadêmico de Química e Biologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Curitiba.

Thiago Castanho Pereira⁽⁴⁾

Graduando em Química pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR/CT).

André Nagalli⁽⁵⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná. Doutor em Geologia pela Universidade Federal do Paraná. Docente do Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Curitiba.

Endereço⁽¹⁾: Rua Professor Pedro Viriato Parigot de Souza, 4554 - CIC - Curitiba - PR. CEP:81280-330 - Brasil - Tel: (41) 3285-7672 - e-mail: thaysenathalieferro@gmail.com

RESUMO

O enfoque deste trabalho foi avaliar a eficiência de remoção da matéria carbonácea e nitrogenada, esta última através dos processos de nitrificação e desnitrificação, em reator combinado aeróbio-anóxico de leito fixo (RLFAA), tratando efluente anaeróbio proveniente de um reator Anaeróbio Híbrido (*Upward-flow Anaerobic Hybrid Blanket* - UAHB). Como material suporte para imobilização da biomassa foram utilizadas matrizes cúbicas de poliuretano. O reator foi operado em escala de bancada com Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) de 8 h no processo anaeróbio, 7 h no processo aeróbio e 7 h no processo anóxico. A eficiência do sistema na remoção biológica de matéria nitrogenada foi avaliada por meio de monitoramento semanal e as amostras foram coletadas ao longo da altura do reator. As eficiências obtidas, em termos de remoção dos compostos nitrogenados, foram de 86% pra NTK e para N-amon. Em termos de matéria orgânica carbonácea a eficiência do sistema foi próxima a 92%, em termos de DQO. Os resultados obtidos confirmaram a robustez e eficiência do aparato analisado. Para confirmar a veracidade das eficiências obtidas foi realizada uma análise estatística.

PALAVRAS-CHAVE: Nitrificação, Pós-tratamento, Matéria carbonácea.

INTRODUÇÃO

Dentre as várias alternativas de tratamento (físico, químico e biológico), os processos biológicos são os mais comumente adotados no Brasil devido, basicamente, as condições climáticas e econômicas. Em termos de aplicação em estações de tratamento de esgoto sanitário os processos biológicos por vias anaeróbias representam cerca de 80% das unidades em atividade (VON SPERLING, 2016).

As vantagens do processo anaeróbio, menor custo de implantação e conversão da matéria orgânica sem consumo de energia, os tornam mais aplicáveis. Porém suas vantagens são limitadas quanto à remoção de matéria orgânica, que não atinge o mínimo determinado na legislação ambiental brasileira - remoção de 80% de DQO, e também, quanto a remoção de nutrientes, com eficiência praticamente nula, o que implica na necessidade de um pós-tratamento quando comparados à outros sistemas (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

Considerando o potencial dos reatores de leito fixo em produzirem efluente de boa qualidade, do ponto de vista da conversão de carbono e nitrogênio, sua aplicação tem sido pouco explorada. Esses reatores são capazes de garantir condições ambientais aeróbias e anóxicas, maior tempo de retenção celular, gradiente de oxigênio, além de substratos favoráveis para a ocorrência dos processos de nitrificação e desnitrificação (PANTOJA FILHO, 2011).

A integração dos processos anaeróbio-aeróbio em uma única unidade torna-se atrativa do ponto de vista econômico e operacional devido às suas vantagens: baixa potência de aeração requerida na fase aeróbia, menor produção de lodo biológico (CHERNICHARO, 2006). No entanto, o inconveniente dessa integração é a dificuldade em remover os compostos fosfatados e os nitratos remanescente da oxidação dos compostos de nitrogênio.

Com a finalidade de atender aos padrões estabelecidos no CONAMA para lançamento de efluente em corpos hídricos e propor uma planta economicamente viável e ambientalmente segura, este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de um Reator Aeróbio-Anóxico de Leito Fixo, com fluxo descendente, em relação à remoção de matéria carbonácea e nitrogenada, aplicado como pós-tratamento de um reator anaeróbio, tratando efluente sanitário sintético.

METODOLOGIA UTILIZADA

O aparato experimental utilizado era composto por um reator Anaeróbio Híbrido (*Upward-flow Anaerobic Hybrid Blanket* - UAHB) seguido por um Reator de Leito Fixo Aeróbio-Anóxico (RLFAA). Este foi instalado no anexo do Laboratório de Saneamento do Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Curitiba, Sede Ecoville.

O reator UAHB consiste na combinação do reator tipo UASB com o filtro anaeróbio em um único reator, esse foi confeccionado em vidro temperado, com 8 mm de espessura com base retangular de dimensões 25,0 cm x 19,5 cm, e operado em regime de escoamento ascendente. Para caracterização do filtro anaeróbio foram utilizados anéis corrugados de Policloreto de Polivinila (PVC) que serviram de suporte para imobilização da biomassa.

O RLFAA foi confeccionado em tubo de *plexiglass* em formato cilíndrico, com diâmetro da base de 9,3cm e com leito reacional dividido em zonas aeróbias e zona anóxicas. O reator foi operado como pós-tratamento do efluente do UAHB em regime de escoamento descendente da fase líquida. Na Tabela 1 são apresentadas as características principais de ambos os reatores.

O Tempo de Detenção Hidráulica (θ_h) adotado neste sistema foi de 8 h no processo anaeróbio, 7 h no processo aeróbio e 7 h no processo anóxico.

Tabela 1 - Características construtivas do sistema combinado UAHB-RAALF

	UAHB	RLFAA
Comprimento total (cm)	100	110
Comprimento útil (cm)	88,4	78
Base do reator (cm ²)	250	68
Volume total (L)	25	7,4
Volume útil (L)	22,1	6,8
Porcentagem do meio suporte (%)	12	79,7

A alimentação do sistema foi realizada por uma bomba dosadora de diafragma solenóide marca ProMinent, modelo Beta®, com vazão nominal de 7,1 L.h⁻¹. O efluente bruto utilizado na alimentação do sistema foi armazenado em um reservatório com volume de 250 L. A aeração do reator RLFAA foi promovida por um compressor de ar de uso profissional marca MOTOMIL, modelo MAV 15/200, seguido de um controlador de pressão e um fluxômetro. A difusão do ar foi realizada por um sistema constituído de pedras porosas, posicionado na base do reator.

Para formação do leito fixo nos compartimentos aeróbios e anóxicos foram utilizadas matrizes cubicas de poliuretano, com aproximadamente 1 cm de aresta, 543 μm de diâmetro médio dos poros, 23 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$ de densidade e 95% de porosidade. A escolha do material deu-se devido sua porosidade e resistência mecânica.

O RLFAA foi inoculado com aproximadamente 1 L de lodo anaeróbio proveniente de um adensador de uma Estação de Tratamento de Esgotos da região metropolitana de Curitiba/PR. As principais características do inóculo são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Características físicas dos lodos de inóculo anaeróbio utilizado.

LODO ANAERÓBIO					
N		MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MÍNIMO	MÁXIMO
ST ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	2	113,4	1,408	112,0	114,8
STF ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)		59,7	1,094	58,6	60,8
STV ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)		53,7	0,314	53,4	54,0

Legenda: ST = Sólidos Totais; SFT = Sólidos Totais Fixos; SVT = Sólidos Totais Voláteis; N = Número de amostras.

Como apresentado na Tabela 2 o lodo anaeróbio possuía concentração de Sólidos Voláteis Totais de 53,7 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, o que determinou a carga orgânica biológica inicial de 0,009 $\text{kgDQO}\cdot\text{kgSTV}\cdot\text{d}^{-1}$. Para alimentação do sistema foi utilizado esgoto sanitário sintético, devido à dificuldade de obter esgoto sanitário *in natura*, em função da distância entre a rede coletora de esgotos e a instalação do aparato experimental. O substrato sintético utilizado neste experimento é uma adaptação do substrato definido por Torres (1992).

A eficiência do sistema na remoção biológica de matéria nitrogenada foi avaliada por meio de monitoramento semanal com determinação dos parâmetros apresentados na Tabela 3 em amostras do afluente (substrato), efluente anaeróbio, efluente aeróbio e efluente anóxico (saída do sistema).

Tabela 3 - Parâmetros físico-químico analisados durante operação do reator.

Parâmetros	Método de Análise	Nº do Método	Referência
TL ($^{\circ}\text{C}$)	Potenciométrico	-	-
pH	Potenciométrico	4500_H ⁺	Eaton et al. (2012)
AT ($\text{mgCaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$)	-	-	Ripley et al. (1986)
AB ($\text{mgCaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$)	Titulométrico	-	Ripley et al. (1986)
AV ($\text{mgHAc}\cdot\text{L}^{-1}$)	Titulométrico	-	Dillalo e Albertson (1961)
OD ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Polarográfico	4500_O	Eaton et al. (2012)
DQO (Amostras bruta) ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Espectrofotométrico	5220_D	Eaton et al. (2012)
N-NTK ($\text{mgNTK}\cdot\text{L}^{-1}$)	Titulométrico	4500_NTK	Eaton et al. (2012)
N-amoniacal ($\text{mgN-NH}_4^+\cdot\text{L}^{-1}$)	Titulométrico	4500_NH ₄ ⁺	Eaton et al. (2012)
Nitrito ($\text{mgN-NO}_2^-\cdot\text{L}^{-1}$)	Espectrofotométrico	4500_NO ₂	Eaton et al. (2012)
Nitrato ($\text{mgN-NO}_3^-\cdot\text{L}^{-1}$)	Espectrofotométrico	4500_NO ₃	Eaton et al. (2012)

Para avaliar a eficiência do sistema no processo de nitrificação e desnitrificação os dados coletados, das séries nitrogenadas e de alguns parâmetros que influenciam nos processos (pH e OD), foram submetidos a testes estatísticos. O intuito foi comparar as medidas de tendência central e dispersão, usando inferência estatística e nível de significância de 5%.

Para escolha do teste adequado para cada parâmetro foi realizado teste de normalidade Shapiro-Wilk, sendo aplicado o teste Anova para as amostras que seguem distribuição normal e o teste de Friedmann para os dados não paramétricos. Para os dados obtidos no teste Anova, cujas médias são significativamente diferentes, foi realizado o pós-teste de Tukey. A análise estatística foi realizada com o auxílio de um software.

Para quantificar a eficiência de nitrificação ($E_{\text{nitrificação}}$), a desnitrificação ($E_{\text{desnitrificação}}$) e a taxa de oxidação do amônio ($\text{TO}_{\text{amônio}}$) foram realizados cálculos de com a Equação 1, 2 e 3.

$$E_{\text{nitricificação}} = \frac{(NTK_{\text{aflu}} - NTK_{\text{eflu}}) \cdot 100}{N_{\text{amon}_{\text{aflu}}}} \quad (1)$$

$$E_{\text{desnitricificação}} = \frac{NTK_{\text{aflu}} - NTK_{\text{eflu}} - N_e}{NTK_{\text{aflu}} - NTK_{\text{eflu}}} \quad (2)$$

$$TO_{\text{amônio}} = \frac{NTK_{\text{aflu}} - NTK_{\text{eflu}}}{NTK_{\text{aflu}}} \cdot 100 \quad (3)$$

Em que: NTK_{aflu} : Nitrogênio Total Kjeldahl afluente; NTK_{eflu} : Nitrogênio Total Kjeldahl efluente; $N_{\text{amon}_{\text{aflu}}}$: Nitrogênio Amoniacal afluente; N_e : somatório das concentrações de nitrito e nitrato no efluente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 4 e 5 são apresentados os resultados da estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos que caracterizam o efluente durante o período operacional.

Tabela 4 - Estatística descritiva dos parâmetros analisados no Afluente e Efluente Anaeróbio.

N=4	Afluente					Efluente Anaeróbio					
	Parâmetro	X	Máx	Mín	DP	p	X	Máx	Mín	DP	p
	pH	7,03	7,55	6,69	0,3	0,57	6,89	7,02	6,80	0,1	0,63
	OD	1,1	3,5	0,3	1,4	0,002	1,1	2,3	0,4	0,7	0,17
	DQO	796	1237	312	391	-	125	58	159	46,7	-
	NTK	152	300	46	104	0,41	127	222	41	76,8	0,34
	N-amon	41	78	19	22	0,42	79	149	36	43,0	0,43
	N-NO ₃ ⁻	0,3	0,4	0,1	0,2	0,001	0,3	0,4	0,1	0,2	0,001
	N-NO ₂ ⁻	0,2	0,4	0,1	0,1	0,11	0,1	0,2	0,1	0	0,25

Legenda: pH – potencial hidrogeniônico; OD – oxigênio dissolvido (mg.L); DQO – demanda química de oxigênio; NTK – nitrogênio total Kjeldahl (mg.L⁻¹); N-Amon – nitrogênio amoniacal (mg.L⁻¹); N-NO₃⁻ - nitrato (mg.L⁻¹); N-NO₂⁻ - nitrito (mg.L⁻¹). N – Número de amostras analisadas; X – média; Máx - valor máximo; Mín – valor mínimo; DP – desvio padrão; p – p valor do teste Shapiro-Wilk.

Tabela 5 - Estatística descritiva dos parâmetros analisados Efluente Aeróbio e Efluente Anóxico.

N=4	Efluente Aeróbio					Efluente Anóxico					
	Parâmetro	X	Máx	Mín	DP	p	X	Máx	Mín	DP	p
	pH	6,45	7,05	5,46	0,6	0,44	6,28	6,95	5,23	0,6	0,29
	OD	5,6	6,7	5,1	0,6	0,09	3,4	3,8	2,7	0,5	0,03
	DQO	86	197	8	82,0	-	76	99	49	25,2	-
	NTK	45	92	27	27,3	0,01	39	71	26	18,7	0,02
	N-amon	17	35	6	10,6	0,23	11	21	3	6,6	0,69
	N-NO ₃ ⁻	23	32	0,1	13,2	0,008	21	36	0,1	14,3	0,35
	N-NO ₂ ⁻	0,3	0,8	0,1	0,3	0,04	0,2	0,8	0,0	0,3	0,02

Legenda: pH – potencial hidrogeniônico; OD – oxigênio dissolvido (mg.L); DQO – demanda química de oxigênio; NTK – nitrogênio total Kjeldahl (mg.L⁻¹); N-Amon – nitrogênio amoniacal (mg.L⁻¹); N-NO₃⁻ - nitrato (mg.L⁻¹); N-NO₂⁻ - nitrito (mg.L⁻¹). N – Número de amostras analisadas; X – média; Máx - valor máximo; Mín – valor mínimo; DP – desvio padrão; p – p valor do teste Shapiro-Wilk.

Durante o período experimental o sistema foi operado com carga orgânica volumétrica de $8,9 \text{ KgDQO.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ e nitrogenada de $1,8 \text{ Kg NTK.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$, valores que caracterizam o efluente como forte, Segundo Metcalf e Eddy (2005).

O reator apresentou eficiência média de remoção em termos de DQO e NTK de 92% e 86%, respectivamente. Em estudo realizado por Foco, Lopes e Nour (2015), os autores avaliaram um sistema combinado aeróbio-anóxico e obtiveram eficiências de remoção similar a deste estudo, DQO de 92 (4)% e NT de 83 (8)%.

As razões de recirculações avaliadas no estudo permitiram aos autores relacionar a disponibilidade de matéria orgânica carbonácea à eficiência de remoção dos compostos nitrogenados, pois observaram que com o aumento da recirculação, e consequente aumento na disponibilidade de carbono, a eficiência de desnitrificação foi maior.

Metcalf e Eddy (2005) quantificam a influência do carbono na remoção de nitrogênio através da relação carbono/nitrogênio (C/N). Para que ocorra a nitrificação, os autores sugerem manter relação C/N inferior a 3 e para melhor desempenho das bactérias desnitrificantes os autores recomendam relação C/N superior a 5. Neste estudo, a relação C/N no compartimento aeróbio foi igual a 5 e no compartimento anóxico foi aproximadamente 3.

Essas relações são sugeridas para a ocorrência dos processos de forma isolada, analisando que a nitrificação alcançou 76% de eficiência, e a desnitrificação 77% de eficiência, considera-se a ocorrência do processo de nitrificação e desnitrificação simultânea (SND).

Do ponto de vista físico, a ocorrência do processo SND acontece dentro do biofilme devido ao gradiente de oxigênio, ou seja, as bactérias nitrificantes se desenvolvem em áreas com maior concentração de oxigênio enquanto que nas áreas com oxigênio limitante estão localizadas as bactérias desnitrificantes (ZOPPAS, BERNARDES E MENEGUZZI, 2016). Essa condição pode ter sido favorecida pelo material suporte utilizado no compartimento aeróbio, que proporcionou maior aderência e desenvolvimento do biofilme, promovendo o gradiente de oxigênio exigido pelo processo.

Ainda segundo Zoppas, Bernardes e Meneguzzi (2016), outro fator que comprova a ocorrência do processo SND é a similaridade nas taxas de oxidação do amônio e de desnitrificação, que neste trabalho foram de 75% e 77%, respectivamente. Vale mencionar que as características primordiais do aparato utilizado, tempo de detenção hidráulica elevado e aeração prolongada, são ideias para acomodar simultaneamente a nitrificação e desnitrificação.

As concentrações de nitrato observadas no efluente do sistema indicam o acúmulo do mesmo. Fato que pode ser atribuído à relação C/N mencionada anteriormente. A baixa disponibilidade de carbono inibe o processo de desnitrificação, justificando o acúmulo de nitrato.

Os parâmetros operacionais que influenciam diretamente no processo de SND, pH e OD, foram monitorados com o intuito de controlar estabilidade do sistema. Ao longo do procedimento experimental os valores de pH mantiveram-se dentro do que é recomendado para a ocorrência dos processos biológicos, entre 6,5 e 8,0 (SURAMPALLI et al., 1997). A redução do pH no compartimento aeróbio evidencia a ocorrência da oxidação do N-amon.

Quanto ao OD, a concentração fornecida ao compartimento aeróbio foi $6,45 (0,6) \text{ mg.L}^{-1}$, valor superior ao recomendado para ocorrência da SND (próximo a 1 mg.L^{-1}). As condições para a ocorrência da SND, neste estudo, são atribuídas ao material suporte utilizado, espuma de poliuretano. Assim como em outros estudos a espuma de poliuretano facilitou a aderência e desenvolvimento da biomassa, promovendo ocorrência de zonas anóxicas ao longo da espessura do biofilme (SANTOS, 2014; MOURA, 2011).

Análise Estatística

Com o intuito de corroborar os resultados apresentados quanto a remoção de nitrogênio, será realizada a apresentação do estudo estatístico realizado.

O teste de normalidade aplicado às concentrações de NTK mostrou que somente os dados obtidos no afluente e no efluente anaeróbio tiveram distribuição normal, o resultado do teste Anova aplicado à esses pontos mostrou

que não há diferenças significativas nas médias analisadas (p-valor 0,75035). Como esperado, o reator anaeróbio não tem a capacidade de oxidar macro-nutrientes, ocorrendo nesse compartimento apenas a oxidação do nitrogênio orgânico (afluente) em amoniacal.

A não normalidade dos dados de NTK nos compartimentos aeróbio e anóxicos confirmam a ocorrência da oxidação do nitrogênio, o teste de Friedman aplicado no efluente aeróbio e no efluente anóxico provou que não há diferença significativa entre os pontos (p-valor 0,1336). Como apresentado na Tabela 4 e 5, as concentrações de NTK não exibiram variações significativas nesses pontos, assim a eficiência de remoção de 86% é justificada a ocorrência do processo de SND no compartimento aeróbio.

Através da análise dos valores de N-amon foi possível confirmar a ocorrência de nitrificação no efluente aeróbio. O teste de normalidade apresentou distribuição normal entre os dados e o teste Anova provou que há diferença significativa entre as médias dos resultados analisados (p-valor 0,022). O pós-teste de Tukey mostrou que há diferença significativa entre as médias nas amostras do efluente aeróbio – efluente anaeróbio e efluente anóxico – efluente anaeróbio.

As análises de nitrito e nitrato foram realizadas para comprovar a ocorrência da nitrificação e da desnitrificação. As concentrações médias desses parâmetros na saída do sistema (efluente anóxico) foram de 0,2 mg.L⁻¹ e 26 mg.L⁻¹, respectivamente. A estatística aplicada para nitrato mostrou que somente as amostras coletadas no efluente anóxico não apresentaram distribuição normal, não sendo aplicado teste estatístico para este ponto. Os demais pontos não apresentaram distribuição normal e o teste de Friedman mostrou que as médias não apresentam diferença significativas, com p-valor 0,1441.

Os dados de nitrito coletado apresentaram distribuição normal no afluente e no efluente anaeróbio, sendo aplicado o teste Anova que mostrou que não há distribuição normal entre as médias, com p-valor 0,6279. Para os pontos que não apresentaram distribuição normal dos dados, o teste de Friedman mostrou que as médias são significativamente diferentes, com p-valor 0,0455.

Os valores de pH obtidos nos monitoramentos apresentaram distribuição normal e o teste Anova mostrou a inexistência de diferenças significativas nos resultados médios do pH (p-valor 0,21) entre as amostras analisadas.

Quanto a concentração de OD foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk apenas as amostras do efluente anaeróbio e do efluente aeróbio apresentaram distribuição normal. Para estes pontos foi realizado o teste Anova que apresentou p-valor 0,002, mostrando que há diferença significativa entre os resultados médio analisados. Para os pontos que não apresentaram distribuição normal (afluente e efluente anóxico) foi realizado o teste de Friedman que indicou que as médias são significativamente diferentes (p-valor 0,31).

CONCLUSÕES

Com base nos resultados alcançados é possível constatar que o aparato experimental possibilitou a remoção simultânea de matéria orgânica carbonácea e nitrogenada.

As eficiências alcançadas durante o procedimento experimental atingiram 92% em termos de amostras brutas de DQO e 86% em termos de matéria orgânica nitrogenada, tanto para NTK quanto N-amon. As eficiências nos processos de nitrificação e desnitrificação foram de 76% e 77%, respectivamente. Esses fatores proporcionaram ao efluente do sistema concentrações médias de DQO de 76 mg.L⁻¹, NTK de 39 mg.L⁻¹, N-amon de 11 mg.L⁻¹, nitrato de 21 mg.L⁻¹ e nitrito de 0,2 mg.L⁻¹.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação Araucária, Secretaria da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (SETI) e ao Governo do Estado do Paraná pela concessão da bolsa de mestrado, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de Doutorado, ao Laboratório de Saneamento (LabSan) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC-UTFPR-CT) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA-UTFPR-CT) pela infraestrutura para desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHERNICHARO, Carlos .A. de L. Post-treatment options for the anaerobic treatment of domestic wastewater. **Environmental Science and Biotechnology**. v.5. p.73-92. 2006.
2. DILLALO, R., ALBETSON, O.E. Volatile acids by direct titration. **Journal of Water Pollution Control Federation**, p. 356-65. 1961
3. EATON, A.D.; CLESCERI, L.S.; RICE, E.W.; GREENBERG, A.B. (Ed.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, 2012.
4. FOCO, M. L. R.; LOPES, G. P. R.; NOUR, E. A. A.; (2015) Remoção de Nitrogênio em Sistema Combinado Anóxico-Aeróbio com Biomassa Imobilizada. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 20, n.º. 1, p. 55-64.
5. METCALF, L.; EDDY, H. **Wastewater Engineering: treatment and reuse**. 4 ed. Revisado por George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel. New York: McGraw-Hill, 2005.
6. MOURA, R. B. **Desempenho de um reator vertical de fluxo contínuo e leito estruturado com recirculação do efluente, submetido à aeração intermitente, na remoção de carbono e nitrogênio de um efluente sintético**. 2011. 92f. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011.
7. PANTOJA FILHO, J.L.R. **Remoção de Matéria Orgânica Carbonácea e Nitrogênio em Reator Aeróbio-Anóxico de Leito Fixo (RAALF) Aplicado ao Pós-Tratamento de Efluente de Reator Anaeróbio**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011
8. RIPLEY, L.E.; BOYLE, W.C.; CONVERSE, J.C. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. **Journal Water Pollution Control Federation**, p. 406-11. 1986.
9. SANTOS, C. E. D. dos. **Influência da relação carbono/nitrogênio e da fonte de carbono no processo de nitrificação desnitrificação simultânea em reator de leito estruturado**. 2014. 91. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2014.
10. SURAMPALLI, R.Y.; TYAGI, R.D.; SCHEIBLE, O.K.; HEIDMAN, J.A. (1997) Nitrification, denitrification and phosphorus removal in sequential batch reactors. **Bioresource Technology**, v. 61, n. 2, p. 151-157.
11. TORRES, P. **Desempenho de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) de bancada no tratamento de substrato sintético simulando esgoto sanitário sob diferentes condições de operação**. 1992. Dissertação (Mestrado) - Curso de Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.
12. VAN HAANDEL, A. C. e VAN DER LUBBE, J. (2007). **Handbook Biological Wastewater Treatment – design and optimization of activate sludge systems**, 2007.
13. VON SPERLING, M. V. **Urban wastewater treatment in Brazil**. Department of Sanitary and Environmental Engineering. Federal University of Minas Gerais. Brazil, 2016.
14. ZOPPAS, F. M.; BERNARDES, A. M.; MENEGUZZI, A.; (2016) Parâmetros Operacionais na Remoção Biológica de Nitrogênio de Águas por Nitrificação e Desnitrificação Simultânea. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 21, n.º. 1, p. 29-42.